

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-183848

(43) 公開日 平成7年(1995)7月21日

| | | | | |
|--------------------------------------|------|---------|-----------------|--------|
| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| H 0 4 B 10/02 | | | | |
| 10/18 | | | | |
| 10/14 | | | | |
| | | 9372-5K | I I 0 4 B 9/ 00 | M |
| | | 9372-5K | | Q |
| 審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 11 頁) 最終頁に続く | | | | |

(21) 出願番号 特願平6-177436

(22) 出願日 平成6年(1994)7月6日

(31) 優先権主張番号 9 3 0 8 5 3 9

(32) 優先日 1993年7月6日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 392008460

フランス テレコム

FRANCE TELECOM

フランス国, 75015 パリ, プラス ダル
レイ, 6 番地

(72) 発明者 フランシス ビリオ

フランス国 75013 パリ リュ ドウシ
ユフドゥラビル 9

(72) 発明者 ジャン-バプティスト トミヌ

フランス国 75015 パリ アヴニユ デ
ユ メヌ 188

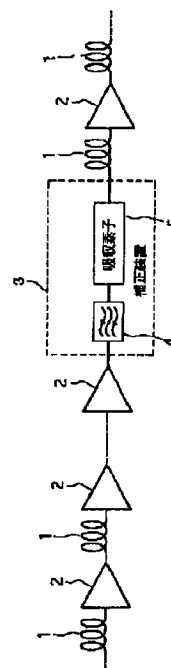
(74) 代理人 弁理士 越場 隆

(54) 【発明の名称】 線路の歪みに対する補正を備えた光ファイバ伝送システム

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 オンライン光増幅を行う光ファイバ上で、非常に長距離の伝送線路によって起こる歪を補正することが可能なシステムを提供する。

【構成】 所定の通過帯域を有するデジタル信号を、オンライン光増幅を行って伝送線路上で伝送するためのシステムであって、前記伝送線路が複数の光ファイバ部1と複数の光増幅器2とを備えており、光増幅器のそれぞれが隣接する2個の光ファイバ部の間に挿入されており、前記システムが、特にノイズと伝送線路上を伝播することによってデジタル信号に生ずる歪みとをオンライン補正するための装置を1つ以上備えており、前記のオンライン補正装置3が、デジタル信号の通過帯域に実質的に匹敵する通過帯域を有する1個以上の帯域通過光フィルタ4、および光パワーに応じてその吸収が減少する非線形の受動光学素子である1個以上の可飽和吸収素子5を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の通過帯域を有するデジタル信号を、オンライン光増幅を行って伝送線路上で伝送するためのシステムであって、前記伝送線路が複数の光ファイバ部と複数の光増幅器とを備えており、光増幅器のそれぞれが隣接する 2 個の光ファイバ部の間に挿入されており、前記システムが、特にノイズと伝送線路上を伝播することによってデジタル信号に生ずる歪みとをオンライン補正するための装置を 1 つ以上備えており、前記のオンライン補正装置が、

第 1 に、デジタル信号の通過帯域に実質的に匹敵する通過帯域を有する 1 個以上の帯域通過光フィルタ、および第 2 に、光パワーに応じてその吸収が減少する非線形の受動光学素子である 1 個以上の可飽和吸収素子を備えることを特徴とするシステム。

【請求項 2】 前記補正装置が、隣接して配置された可飽和吸収素子と帯域通過光フィルタを備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】 前記補正装置が、可飽和吸収素子と 2 個以上の帯域通過光フィルタとを備え、帯域通過光フィルタが、伝送線路に沿って分散して配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】 前記吸収素子および前記帯域通過光フィルタが、光ファイバ部の上流であって、光増幅器の下流に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 5】 前記吸収素子および複数の帯域通過光フィルタが、光ファイバ部の上流であって、光増幅器の下流に配置されていることを特徴とする請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 6】 前記光ファイバ部の平均の光学分散が、システムの動作波長において、ごくわずかに負であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】 前記光ファイバ部の平均の色分散が、システムの動作波長において正であり、デジタル信号がソリトン列の形で伝送されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】 前記可飽和吸収素子が、以下に示す群に属する特性の少なくとも 1 つを備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム：

ー飽和状態で、吸収が最小である時に、可飽和吸収素子によって伝送される最大の光パワーと、飽和していない状態で、吸収が最小である時に、可飽和吸収素子によって伝送される最小の光パワーとの比が大きい；

ー吸収素子の入力において、デジタル信号を形成するパルスのピークパワーが、可飽和吸収素子の吸収を飽和させる；および

ー可飽和吸収素子が、飽和していない最大吸収から飽和している最小吸収となるのにかかる時間およびその逆となるのにかかる時間が、デジタル信号を形成するそれぞ

れのパルスの幅よりも短い。

【請求項 9】 前記可飽和吸収素子が、デジタル信号を形成するパルスのピークパワーで飽和される吸収を有するようなタイプのものであるシステムにおいて、可飽和吸収素子のすぐ上流に配置された光増幅器が、その出力パワーを調整する手段を備えていることを特徴とする請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】 前記可飽和吸収素子のすぐ上流に配置されている光増幅器が、さらに、その出力パワーをチェックする制御手段を備えており、制御手段が前記調整手段を作動させること特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】 前記可飽和吸収素子のすぐ上流に配置されている光増幅器の前に、追加の光増幅器を設けられていることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 12】 前記可飽和光学素子の下流に光減衰器が配置されていることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 13】 デジタル信号が、RZ2 進方式に従ってコード化されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】 上記帯域通過光フィルタが干渉レイヤーによって造られた光フィルタ；およびファブリ・ペローの法則に従って造られたフィルタ；で構成される群に属していることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 15】 前記可飽和吸収素子が、半導体超格子より造られていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光ファイバによる非常に長距離（数千キロメートル）のデジタル伝送分野で、線路光増幅器を使用したシステムに関するものである。このような非常に長距離のシステムにおいては、伝送ファイバによって起こる歪みが、ビットレートを制限する主要因の 1 つになっている。実際、そのような歪みは、標準的な光ファイバシステム（数百キロメートル程度のリンクを提供するもの）においては一般的に見過ごされるが、長距離伝送システムにおいては、大きな妨害要因となる。

【0002】本発明は、大洋横断リンクなどにおいて使用される長さ 1,000 キロメートル以上の伝送線路において、この伝送線路によって起こる歪みを、オンラインで補正することの可能な光ファイバ線路上での伝送システムに関するものである。

【0003】

【従来の技術】伝送ファイバによって起こる歪みは、単モードファイバで起こる 2 つの現象、つまり色分散および非線形効果が組み合わされて存在することによって発

生ずる。第1の現象は色分散である。この現象は、シリカの屈折率が周波数依存性であることによって発生する。その結果、伝播時間が動作波長に応じて変化する。一般に、色分散はデジタル信号列のパルスを広げ、従って、符号間干渉を作り出す傾向にある。

【0004】一般に使用されている光ファイバでは、色分散は $1.3 \mu\text{m}$ 付近でゼロ、 $1.55 \mu\text{m}$ 付近で約 17ps/nm/km という正の値をとる。また、 $1.55 \mu\text{m}$ 領域で色分散がゼロとなるように設計されたオフセット分散を有する光ファイバを使用することも可能である。非常に長距離のシステム（数千キロメートルの距離をカバーするもの）は $1.55 \mu\text{m}$ で作動する。この波長においては、一般に使用される光ファイバは、その色分散値があまりに高いために使用不可能であり、従ってその場合、オフセット分散を有する光ファイバが使用される。

【0005】色分散による歪みの影響は、パルスのスペクトル成分に大きく依存することに注意されたい。つまり、パルスの光の位相がその開始点で正であり、その終了点で負である変化をする場合、このパルスは正の色分散によって大きく拡大される。負の分散については反対のことが言える。結局、色分散は光パワーとは無関係の歪みを引き起こす。

【0006】第2の現象は非線形効果に関するものである。光ファイバにおける最も重要な非線形効果はカー効果である。この効果は、例えばKw. Blow and J.J. Dorianの"Non-Linear effects in optical fibers and fiber devices" (IEEE Proceedings, June 1987, pp.138-144)に記載されており、シリカの光パワーに対するシリカの一次依存性を表現するものである。この効果は、光システム操作の通常分野（約 100km 以下の距離でパワーの値が約 10mW 以下）では非常に低いものであるが、非常に高いパワーの値（ 1ワット 程度）または中程度のパワーの値で非常に長距離を伝播させる場合（周期的な増幅を用いたシステムにおいて数百キロメートル）、無視できないものとなる。

【0007】色分散がない場合には、カー効果が光パルスの自己位相変調を誘発する。つまり、光パワーに比例して、パルスの開始点で位相が減少し、その終了点で増加する。このことによって、光スペクトルは広がり、スペクトル組成が、負の色分散について大きく拡張される。長距離増幅システムにおいては、伝送光ファイバによって与えられる歪みは、従って、色分散（第1の現象）と非線形効果（第2の現象）の組み合わせであると見なされるべきである。以上2つの効果の組み合わせは、シュレディンガーの非線形方程式として公知の、距離および時間についての偏微分である非線形方程式で表され、その解は、特にG. Agrawalの"Non-linear Fiber Optics" Academic Pressに述べられている。

【0008】この方程式の数値的および解析的研究により、色分散(D)の符号とパルスの形状に応じて、性質

上非常に異なる2種類の挙動があることが示されている。第1の挙動タイプは $D > 0$ に対応する。この場合、カー効果および色分散が伝送パルスに対して反対の効果をも有する。一般に、このことによって「変調不安定」現象として知られる現象、つまり、 $1,000 \sim 2,000$ キロメートル後にパルスが「バースト」して非常に短いパルスとなり、光スペクトルが大幅に広がる。このことが光通過帯域に関する問題を引き起こすこともある。さらに、このタイプの挙動には、ソリトンとして知られている特殊なタイプのパルスが存在し、このパルスは、その時間的およびスペクトルの形状とピークパワーとによって正確に規定され、形状の変化なしに伝播されるという特性を有する。

【0009】第2の挙動タイプは $D < 0$ に対応する。この場合、変調不安定はなく、伝播中にスペクトルが単調に広がるが、スペクトルが妥当な幅を保っている間は、パルスはある程度の完全性を維持する。しかしながら、パルスは時間の経過と共に大きく広がる。これにより、符号間干渉が生ずる。この干渉は、色分散の絶対値に応じて増加し、従ってこの領域における色分散の許容範囲を大きく制限する。

【0010】ビット比が 5 Gbit/s で作動する非常に長距離（ $6,000 \sim 9,000$ キロメートル）の増幅された水中のシステムについては、これらの効果がすでに主なものであり、信号波長、増幅器の出力パワーおよび色分散に応じた線路光ファイバの配置または選択に関する対策が必要とされている。その場合、選択される動作範囲は、いわゆるNRZ変調方式（強度変調、直接検出）で色分散がゼロに近いマイナスのもの（ $D < 0$ ）である。

【0011】結果的に、同様な長さでより高いビットレートを有する（ 10 Gbit/s 以上）システムを設計するには、上記の伝播効果は重大で非常に制限的なものである。その場合設計者らは色分散の分野について特別な選択に直面する。つまり、負か正かいずれかの色分散である。実際、色分散がほぼゼロでわずかに負である時、波長に関して動作領域はさらに狭められることは確実で、同時に、線路および伝送/受信装置に関して製造の際の制限がさらに厳しいものになるであろう。

【0012】このような色分散の値がほぼゼロである場合、伝送線路によって引き起こされる歪みに対する全ての公知の補正方法では、伝送における補正か、あるいは受信時における補正のいずれかを行う。従ってこれら公知の方法は全て、パルスを時間的およびスペクト的に再形成できないという大きな欠点を有する。その結果、これら公知の方法は符号間干渉を起こすパルスの過度な拡大を防ぐことができない。いずれの場合でも、現在の技術では、 10 Gbit/s を越えるビットレートを得るのは非常に困難であろう。

【0013】さらに、色分散が正であってパルスがソリトンであれば、ソリトンは伝播中に変形されず、従って

伝播歪みがないという利点を有する。しかしながら、これらソリトンタイプのパルスは増幅器によって出されるノイズと非線形的に混合される。これにより、受信の際に、エラーのレベルの素となるジッターが発生する（ゴードンハウス（Gordon-Haus）ジッターとして知られている）。このジッターのみを考慮するならば、非常に長距離（6,000 ～ 9,000 km）でソリトンを使用するシステムのビットレートに対する制限は、5 Gbit/s の範囲である。このジッターに関わらず、ビットレートを増加するために、数種類の方法が提案されている。

【0014】第1に知られている2つの方法は、多重化技術に基づいたものである（1つの方法は波長の多重化、もう1つは分極の多重化）。この他の公知の2つの方法は、最大モノチャンネルビットレートを増加させるためにジッターそのものを減少させようとするもので、オンライン制御を行う。1つの方法では、比較的狭い光フィルタを線路に配置するという、フィルタリングによる制御を行う。別の方法は、変調による制御を行うもので、ソリトン列に対して、クロックの周波数で光のオンラインの再変調を行う。この方法は従って、線路内での高周波モジュレータの使用を意味するものである。

【0015】後者2つの方法には欠点がある。オンラインフィルタリングについては、ジッターの減少はフィルタのスペクトルの狭さに依存する。ここで、このフィルタのスペクトルを狭くすると、そのために余計な利得が必要になり、その結果、増幅器によって出されるノイズが大幅に増加するので、過度に狭くすることはできない。いわゆるスライドフィルタ（Sliding filter）が提案されている。これは、フィルタの中心周波数を線路に沿って全体にスライドさせるというものである。この方法は実験室内では良好な結果を与えるものの、フィルタの幅（約100 GHz）と比較して周波数のシフトが非常に低い（数百MHz）ために、システムにおいて実施するのは困難と思われる。従って、工業的な規模で実施するのは非常に難しい。オンライン変調に関しては、制限はむしろオンライン変調器部品と、非常に高速で作動しなければならず線路上で給電を必要とする、オンライン変調器の電子回路部品とより発生する。結局、フィルタリングとは異なり、変調は波長多重化とは両立しない。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、特に、これら従来技術のさまざまな欠点を克服しようとするものである。より特定するならば、本発明の目的は、オンライン光増幅を行う光ファイバ上での非常に長距離の伝送線路によって起こる歪みを補正することの可能なシステムを提供することにある。本発明のもう1つの目的は、実施が簡単で、コストが低く、信頼性が高く、線路への電力供給や精密な電子部品のセットを必要としないそのようなシステムを提供することにある。

【0017】さらに本発明の目的は、高いモノチャネル

ルのビットレート（10 Gbit/s を越える）を可能にし、波長多重化と両立可能であるそのようなシステムを提供することにある。本発明のさらなる目的は、「0」および「1」でのノイズのレベルを安定させるために使用可能であるそのようなシステムを提供することにある。本発明の補足的な目的は、正の色分散を有する光ファイバを使用する場合と同様に、ソリトンと色分散がほぼゼロ（およびゼロ未満）の光ファイバとを組み合わせる動作可能なシステムを提供することにある。

10 【0018】本発明のさらなる目的は、ソリトン伝送の場合に、非常に高いジッター減少率を有するそのようなシステムを提供することにある。本発明のもうさらなる目的は、正の色分散において、情報を伝達する光パルスの時間的およびスペクトル的な再形成を可能にするそのようなシステムを提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】以上の目的、ならびに以下に示されるその他の目的は、本発明の所定の通過帯域を有するデジタル信号を、オンライン光増幅を行って伝送線路上で伝送するためのシステムであって、前記伝送線路が複数の光ファイバ部と複数の光増幅器とを備えており、光増幅器のそれぞれが隣接する2個の光ファイバ部の間に挿入されており、前記システムが、特にノイズと伝送線路上を伝播することによってデジタル信号に生ずる歪みとをオンライン補正するための装置を1つ以上備えており、前記のオンライン補正装置が、第1に、デジタル信号の通過帯域に実質的に匹敵する通過帯域を有する1個以上の帯域通過光フィルタ、および第2に、光パワーに応じてその吸収が減少する非線形の受動光学素子である1個以上の可飽和吸収素子を備えることを特徴とするシステムにより、達成される。

30 【0020】つまり、オンライン補正装置は、状況に応じて複数の部位に挿入可能で、可飽和吸収素子と少なくとも1個の帯域通過光フィルタとを結合している。可飽和吸収素子は2つの機能を有する。つまり、第1に、特にパワーが最低である末端成分の作動減衰を行うことによりデジタルトレインのパルスを時間およびスペクトル両方について再形成し、第2に、トレインの低パワーのストレイ（ノイズおよび場合によってはパルスエネルギーの一部の漏れによる漂遊）の作動減衰を行い、そうして伝播中にそれらが蓄積するのを防止する。換言するならば、可飽和吸収素子は、「0」に存在するエネルギーを「1」に存在するエネルギーよりも大きく減衰させることによって、トレインに作動利得を印加する。

40 【0021】この再形成によって、システムの与えられた特性（ビットレート、線路パラメータなど）について、システムの動作特性という点でのマージンを広げ、従来技術よりも高いモノチャンネルビット比を有する本発明を用いた新規システムを設計し、従来技術において可能であった許容量よりも高い合計許容量を有するチャ

ンネルの分極多重化および／または波長および本発明を用いた新規システムをデザインすることが可能となる。

【0022】光信号の比較的狭い帯域通過フィルタでのフィルタリングは、パルスのスペクトル幅を制限することによって、可飽和吸収素子の影響を安定化することを目的としている。本発明における第1の有利な具体例では、上記の補正装置が可飽和吸収素子と隣接する帯域通過光フィルタを備えている。本発明における第2の有利な具体例では、上記の補正装置が可飽和吸収素子と、2つ以上の帯域通過光フィルタを備え、上記帯域通過光フィルタが上記伝送線路にそって分散して配置されている。

【0023】このようにして、可飽和吸収素子が、それが特殊な部品であるために、所定の位置に置かれるならば、それと組み合わされた一組の帯域通過光フィルタで構成されるフィルタが線路にそって分散して配置される。有利な点として、上記の吸収部材および上記の帯域通過光フィルタおよび1個以上のフィルタは、まず光ファイバ部分に対して上流に、次に光増幅器に対して下流に配置される。つまり、線路に沿って分散配置されたフィルタの場合、この分散配置されたフィルタを形成しているそれぞれの光フィルタは増幅器の後に位置し、単一の（分散配置されていない）フィルタによって行われるフィルタリングよりも弱いフィルタリングを行う。このように、以上の光フィルタを合わせることは、可飽和吸収素子の近傍に配置されるより狭いフィルタに相当する。

【0024】本発明の好ましい具体例では、上記光ファイバ部分の平均光学分散は、このシステムの操作波長において、ごくわずかに負である。有利な変形例によれば、上記光ファイバ部分の平均色分散は、このシステムの操作波長において正で、上記デジタル信号はソリトントレインの形で送り出される。この変形例では、帯域通過フィルタリングによって、時間的なジッターを制限することが可能になる。さらに、適当な吸収部材によって従来技術において使用されるフィルタよりもずっと狭いフィルタを使用することが可能になる（従って、フィルタリングの品質を向上することによって時間的なジッターをさらに抑制することが可能となる）。

【0025】上記の可飽和吸収素子は以下の特性のうち1つ以上を有するのが好ましい。一方で上記吸収が最小である時に、飽和状態で、上記可飽和吸収素子によって伝送される最大の光パワーの、もう一方で上記の吸収が最大の時に、飽和していない状態で、上記飽和性の吸収部材によって伝送される最小の光パワーに対する比が大きい、吸収部材の入力において、上記デジタル信号を形成するパルスのピークパワーが、上記可飽和吸収素子の上記吸収を飽和する。上記の可飽和吸収素子が、飽和していない最大吸収から飽和している最小吸収となるのにかかる時間、およびその逆となるのにかかる時間が、上

記デジタル信号を形成するそれぞれのパルスの幅よりも短い。

【0026】最大光パワーと最小光パワーの間の比をコントラストと呼ぶこともできる。上記3つの特性を有する可飽和吸収素子が最も効率の良いものであることを明らかにである。可飽和吸収素子の最大飽和と最小飽和との間の行ったり来たりの時間は、飽和パルスの通過後、次のパルスの到着前に吸収部材の吸収が再び上昇し、さらに、飽和パルスの到着時に、吸収部材の吸収が急速に低下してこのパルスをできるだけ効率良く通過させるために短く設定されるのが好ましい。

【0027】上記の可飽和吸収素子は、上記のデジタル信号を形成するパルスのピークパワーによって飽和され、さらに、上記可飽和吸収素子のすぐ上流に配置された光増幅器は、その出力パワーを調整する手段を備えている。このようにして、可飽和吸収素子のすぐ上流に配置された光増幅器の出力パワーが、この可飽和吸収素子の入力において要求されるパワーに適應されるようになる。可飽和吸収素子のすぐ上流に配置された上記光増幅器は、さらにその出力パワーをチェックする手段を備え、上記チェック手段が上記調整手段を作動させるのが有利である。従って、可飽和吸収素子の入力には所定のパワー平均値が存在し、従って時間に対して一定の動作特性が存在することを保証することができる。

【0028】上記可飽和吸収素子のすぐ上流に配置された上記光増幅器の前に、追加の増幅器が設置されるのが有利である。これは、可飽和吸収素子が、例えば標準の線路増幅器の出力における飽和パワーよりも10倍高い値を必要とする場合に相当する。この追加の増幅器によって、パワーを必要なレベルまで増加させることができる。

【0029】光減衰器は上記の可飽和吸収素子に対して下流に設置されるのが有利である。これにより、必要な場合には、光ファイバの入力におけるパワーをより低い必要レベルまで減少させることが可能となる。上記デジタル信号はRZ2進方式によってコード化されるのが好ましい。上記1つ以上の帯域通過光フィルタは、干渉レイヤーによって造られた光フィルタとファブリ・ペローの法則に従って造られた光フィルタで構成されるグループに属するのが有利である。上記の可飽和吸収素子は、例えば、InGaAs_{1-x}GaAs_x型半導体の超格子より製造されるのが有利である。本発明のその他の特徴および利点は、好ましい具体例に関する以下の記載と添付した図によって明らかとなろう。これらの例はなんら限定的なものではない。

【0030】

【実施例】本発明は従って、送信ステーションと受信ステーションとの間の非常に長距離のデジタル信号伝送を行うシステムに関するものである。この送信ステーションおよび受信ステーションは光ファイバ伝送線路によ

て連結されており、オンラインの光増幅を備えている。図1および図2は、そのような伝送線路と、特にノイズと伝送線路上の伝播によって起こる歪みのオンライン補正を行うための装置のそれぞれ別の具体例を示す。伝送線路には複数の光ファイバ部1があり、2つの連続した光ファイバ部は光増幅器2で分離されている。図1に示す第1の具体例では、オンライン補正装置3が、第1に、1桁の程度の誤差はあるが、伝送されるデジタル信号の帯域に匹敵する通過帯域値を有する帯域通過光フィルタ4、および第2に、非線形の受動光学素子である可飽和吸収素子5を備えている。

【0031】従って、帯域通過光フィルタ4の通過帯域は、例えば、伝送される信号の帯域以上(20倍まで)である。この実施例では、補正装置3は伝送線路の決まった地点に配置されている。より明確には、補正装置は光ファイバ部1の上流で光増幅器の下流に位置している。この図1では、フィルタ4は可飽和吸収素子5の上流に配置されている。しかしながら、補正装置3を構成するこれら2つの素子4と5の間の順序はさまざまである。

【0032】図2に示す第2の具体例の、図1に示す第1の具体例との違いは、帯域通過フィルタリングが1つのフィルタのみで行われるのではなく、伝送線路に沿って分散して配置された複数の帯域通過光フィルタ4₁、～4₄、によって行われるということのみである。これら4₁、～4₄のフィルタの配置は、例えば、増幅器2よりも下流に置かれた帯域フィルタのそれぞれが、単一のフィルタよりも弱いフィルタリングを行うようになされる。つまり、これら4₁、～4₄のフィルタを合わせて、可飽和吸収素子近くに配置されたより狭いフィルタに相当するようになされる。

【0033】これら2つの本発明の補正装置の具体例では、帯域通過光フィルタは、例えば、干渉レイヤによって、またはファブリ・ペローの原理によって製造することができる。さらに、可飽和吸収素子は、例えば、半導体超格子、特にInGaAs、GaAsタイプのもので造られている。

【0034】図3は、可飽和吸収素子5の吸収の変化を、光パワーの関数として示した曲線の例を示している。この吸収は、光パワーと共に急激に低下し、吸収がほぼ一定となるレベルを2つ有する。つまり、1つは光パワーの値が低い場合の吸収レベルA₁と光パワーの値が高い場合の吸収レベルA₂である。この曲線において、飽和パワーP₁は、吸収が(A₁ - 3 dB)に等しい時の光パワーとして定義される。

【0035】デジタル信号はパルス波の状態で伝送される。図4(a)はRZ方式に従ってコード化され、連続した2つのパルス41および42で構成された2進列の部分の光パワーの変化を時間の関数として示す曲線を示している。それぞれのパルス41、42は2進数の1に相当する。2つの連続したパルス間の幅がビット時間T₁である。

【0036】図4(b)は図4(a)に示す信号が異なる可飽和吸収素子に印加された時の吸収の変化を、時間の関数として示す曲線C₁、C₂、C₃を示している。第1の曲線C₁は、反応時間ゼロの非常に好ましい可飽和吸収素子の例に相当する。つまり、吸収は、光パワーと正反対に、遅延なく変化する。飽和なしの最大吸収と飽和した最小吸収との間を行って戻る時間は、パルス列の変化時間(つまりビット時間T₁)と比較して短い。

【0037】第2の曲線C₂は、上記のもののほどは好ましくないものの、許容可能である可飽和吸収素子に対応し、反応時間はゼロではないが十分に短い。吸収時間は光パワーと反対に、わずかな遅延をもって変化する。第3の曲線C₃は、反応時間が長過ぎる、好ましくない許容不可能な吸収部材に対応する。吸収は光パワーと反対に、大きな遅延をもって変化する。可飽和吸収素子と帯域通過光フィルタの挙動は、時間に関しては図5(a)、図5(b)および図5(c)に、周波数に関しては図6(a)、図6(b)および図6(c)に示されている。

【0038】図5(a)および図6(a)は、線路の、補正装置の前の位置におけるパルスの光パワーの変化を、それぞれ時間と光の周波数の関数として示した曲線を示している。このパルスの時間幅は ΔT_1 、スペクトル幅は ΔF_1 である。図5(b)および図6(b)は、線路の、可飽和吸収素子の後かつ帯域通過光フィルタの前の位置におけるパルスの光パワーの変化を、それぞれ時間と光の周波数の関数として示した曲線を示している。このパルスの時間幅 ΔT_2 は減少した($\Delta T_2 < \Delta T_1$)。従って、可飽和吸収素子は、最低のパワーを有する末端成分と、ノイズおよびパルスのエネルギーが一部漏れる場合それ

30 に起因する低パワーの漂遊パルスとの差動減衰を行うことによって、パルスの品質を向上させる役割を有する。これに対して、パルスのスペクトル幅 ΔF_2 は増加した($\Delta F_2 > \Delta F_1$)

【0039】図5(c)および図6(c)はそれぞれ、線路の、補正装置の後の位置におけるパルスの光パワーの変化を、それぞれ時間と光周波数の関数として示す曲線を示している。このパルスのスペクトル幅 ΔF_3 は減少した($\Delta F_3 < \Delta F_2$)。通過帯域光フィルタは従って、パルスのスペクトル幅を制限することによって、可飽和吸収素子の動作を安定させる役割を有している。反対に、時間幅 ΔT_3 は増加した($\Delta T_3 > \Delta T_2$)。最も好ましいのは、 $\Delta T_3 \approx \Delta T_1$ で $\Delta F_3 \approx \Delta F_1$ であるような場合である。つまり、パルスは歪みなく受信される。

【0040】可飽和吸収素子のようなパワー非線形部材と加えることによって、伝播に関する問題の基本的な要素が根本的に変化することに注意されたい。なぜなら、もしフィルタの幅と可飽和吸収素子の飽和レベルが適切に選択されるならば、補正装置は、パルスの品質を時間およびスペクトル両方について再改良するので、再発生

機能に近いものを有する。所定の特性を有する長距離システム内に周期的に配置することによって、この補正装置はパルス列を周期的に向上させる。従って、仮にパルスが、2つの補正装置間で、線路のパラメータに応じて広がるか、時間的に狭くなるか、スペクトル的に狭くなったとしても、次の補正装置に達した直後に再び平衡状態に回復される。従って、これにより、線路を通して安定した伝播が確実に行われる。同様に、線路の入力において、パルスが正確に平衡状態に対応していない場合でも、そのパルスは、線路の一部を通過してさらに数個の補正装置を通過した後に、この状態に向かう。補正装置の数とそれらの正確な特性は、例えば、次の一般則に従って数値上のシミュレーションによって決定することができる。つまり、補正装置は、システムが再生不可能になる位置の前に（つまり、連続したパルス間に符号間干渉が生じる前、あるいは、パルス間に大量の漂遊が発生する前に）挿入されなければならない。

【0041】ソリトンを使用したシステムの場合には、フィルタの特性の選択は、希望するジッターの減少レベルにも関係してくる。このソリトンタイプのパルスの例においては、帯域通過光フィルタは、時間的なジッターを抑制するのにも使用することができる。さらに、可飽和吸収素子によって、一般に使用されるフィルタよりもずっと狭いものを使用することが可能となる。これにより、さらにジッターを減少させることができる。

【0042】補正装置は、（例えば変調による制御とは違って）線路上に全く給電を必要とせず、あるいは（特に「スライドフィルタ」法とは違って）線路に沿ってフィルタの中心周波数を正確に設定する必要もない。結局、可飽和吸収素子は、図3における差（ $A_1 - A_2$ ）がより大きく、パルスのピークパワーが真にその吸収を飽和させ、最大飽和と最小飽和との間を行って戻る時間が伝送トレインの時間よりも短いと、ますます効果的なものとなる。

【0043】図7(a)および図7(b)は図1に示した本発明の伝送システムの、それぞれ別の変形例である。この2つの変形例は、パルスのピークパワーが、可飽和吸収素子の吸収を確実に飽和させることを、特に意図して設計されている。実際、図7(a)に示すように、可飽和吸収素子5のすぐ上流に設置された通常的光増幅器は、第1に光増幅器72の出力パワーを調節するための調整手段（図示せず）と、第2に光増幅器72の出力パワーをチェックするための制御手段73を備えた特殊な光中継器71で置換することが可能である。これら制御手段73は、第1に増幅器72の出力パワーを検出するためのカブラ74に、第2にこの増幅器72を調整する手段へと連結されている。この特殊な光中継器71によって、可飽和吸収素子に必要なパワーを入力することが可能となる。制御手段73により、さらに可飽和吸収素子の入力における所定の平均パワーが保証され、従って、時間に対して一定の動作

特性が確実に得られるようになる。さらに、可飽和吸収素子5に沿った光ファイバ部1の入力におけるパワーは、必要に応じて、可飽和吸収素子の出力に配置された光減衰器75によって、要求されている低い値まで低下させることができる。

【0044】例えばエルビウムを添加した典型的な増幅器をとれば、このタイプの構成によって、飽和レベルで2~3の大きさの利得が得られる（増幅器の平均出力レベルは-10~+15 dBm）。このようにして、線路および伝播の観点から必要とされるパワー特性とは比較的異なった特性を有する可飽和吸収素子を使用することができる。図7(b)は、可飽和吸収素子がさらに高い飽和パワー値、例えば標準の線路増幅器の出力におけるパワーの値より10倍高い値を必要とする場合に相当する。この場合、吸収素子のすぐ上流に配置される中継器71の前に、追加的光増幅器76が設置される。従って2つの増幅段階が存在し、これによりパワーを必要なレベルまで上げることができる。

【0045】以下の記載は本発明の伝送システムを実施した場合の3つの結果を示すものである。これら3つの結果では、動作波長は、エルビウムを添加された光ファイバ増幅器の増幅ウインド内にある（つまり1,528nm から約150nm）。線路の光ファイバの有効表面積は約50 μm^2 であり、カー指数は約 $2.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{W}$ 、減衰値は約0.2dB/kmである。

【0046】第1のケースでは、システムは、ほぼゼロの色分散モードでRZ変調を使用し、以下の特性を有する。20Gbit/s で半値幅が10psであるパルスで変調されるRZ列、および動作波長におけるオフセット色分散の平均値が0.05ps/nm/kmで、損失0.2dB/kmの光ファイバと、40kmの間隔を有し、平均の出力パワーが0 dBm でノイズファクタが8 dBであるエルビウムを添加された光ファイバ増幅器とで構成される線路。

【0047】補正装置なしでは、2,000 キロメートル後には、動作特性は極めて不良である（クロック信号は回復不可能）。バンドが3 dBで約0.4nmの帯域通過光フィルタと可飽和吸収素子（飽和パワーは数ミリワット）で構成される補正装置を、200km 間隔（増幅器の後）に配置し、補正装置の出力における出力パワーの値を0 dBm に維持すれば、パルス列は最大9,000kmまで、優れた動作特性を維持したままで（エラー率は9,000kmで 10^{-10} を大きく下回る）伝播される。

【0048】第2のケースでは、システムはソリトン伝播モードでRZ変調を使用し、以下の特性を有する。20 Gbit/s で半値幅が10psであるパルスで変調されるRZ列、および動作波長におけるオフセット色分散の平均値が0.22ps/nm/kmで、損失0.2dB/kmの光ファイバと、40kmの間隔を有し、平均の出力パワー+3 dBm でノイズファクタが8 dBであるエルビウムを添加された光ファイバ増幅器で構成される線路。補正装置なしでは、9,000 キロ

メートルで、動作特性は極めて不良である（クロック信号は回復不可能）。3 dB、1.5nm の帯域フィルタを各増幅器の後に挿入すると、動作特性は9,000kmで極めて不良（クロック信号は回復不可能）。400kmおき（増幅器の後）に可飽和吸収素子（飽和パワーは数ミリワット）を挿入し、フィルタを維持することにより、パルス列は優れた動作特性を維持したままで（エラー率は9,000kmで 10^{-10} を大きく下回る）伝播される。

【0049】第3のケースでは、システムはソリトン伝播モードでのRZ変調を使用し、以下の特性を有する。40Gbit/s で半値幅が5psであるパルスで変調されるRZトレイン、および動作波長におけるオフセット色分散の平均値が0.11ps/nm/kmで、損失0.2dB/kmの光ファイバと、40kmの間隔を有し、平均の出力パワー+5 dBm でノイズファクタが6 dBであるエルビウム添加光ファイバ増幅器とで構成される線路。装置なしでは、距離2,000km以降、動作特性は極めて不良である（クロック信号は回復不可能）。3 dB、1.25nmの帯域フィルタを各増幅器の後に挿入すると、動作特性は、距離3,000km以降極めて不良である（クロック信号は回復不可能）。フィルタを入れたまま、可飽和吸収素子（飽和パワーは数ミリワット）を挿入（各増幅器の後、つまり40kmおきに）し、さらに出力パワーを（この場合は補正装置の出力で）+5 dBm に維持することにより、パルス列は優れた動作特性を維持したままで伝播される（エラー率は9,000kmで 10^{-10} を大きく下回る）。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の伝送システムにおいて使用される伝送線路と補正装置の具体例である。

【図2】本発明の伝送システムにおいて使用される伝送線路と補正装置の具体例である。

10

20

30

*

*【図3】本発明のシステムにおいて使用される可飽和吸収素子の吸収の変化を光パワーの関数として示した曲線の例である。

【図4】(a)は、RZ2進方式にコード化されて連続する2つの「1」で構成される2進トレインの一部について、光パワーの変化を時間の関数として示した曲線であり、(b)は(a)に示す信号が印加された場合の、それぞれ別個の可飽和吸収素子の吸収の変化を時間の関数として示した曲線である。

【図5】(a)、(b)、(c)はそれぞれ、本発明の伝送線路の異なる位置にある、すなわちそれぞれ、補正装置の前、可飽和吸収素子の後で帯域通過光フィルタの前、補正装置の後における同一のパルスの光パワーの変化を時間の関数として示した曲線である。

【図6】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、図5の(a)、(b)および(c)に対応する位置の同一のパルスの光パワーの変化を光の周波数の関数として示した曲線である。

【図7】(a)および(b)は図1に示す本発明の伝送システムのそれぞれ別の変形例を示す。

【符合の説明】

- | | |
|--|-----------|
| 1 | 光ファイバ部 |
| 2、72、76 | 光増幅器 |
| 3 | 補正装置 |
| 4、4 ₁ 、4 ₂ 、4 ₃ | 帯域通過光フィルタ |
| 5 | 可飽和吸収素子 |
| 41、42 | パルス |
| 71 | 中継器 |
| 73 | 制御手段 |
| 74 | カブラ |
| 75 | 光減衰器 |

Fig. 1

【図1】

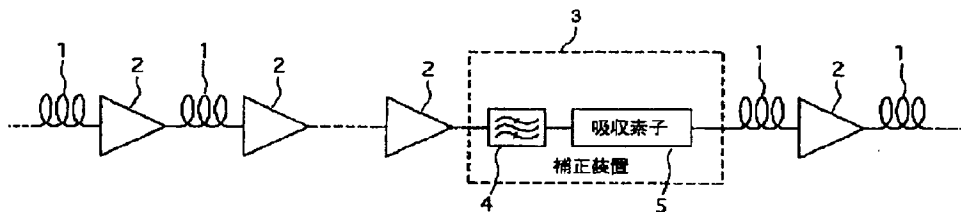


Fig. 2

【図2】

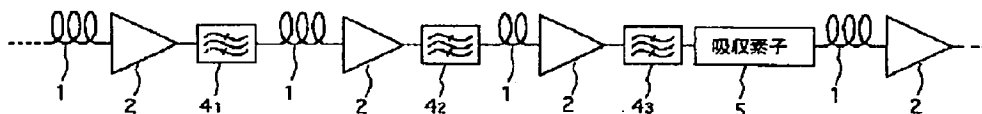


Fig. 3

【図 3】

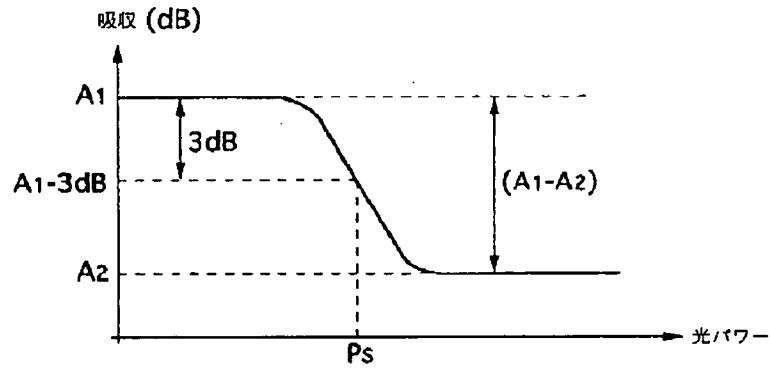


Fig. 4

【図 4】

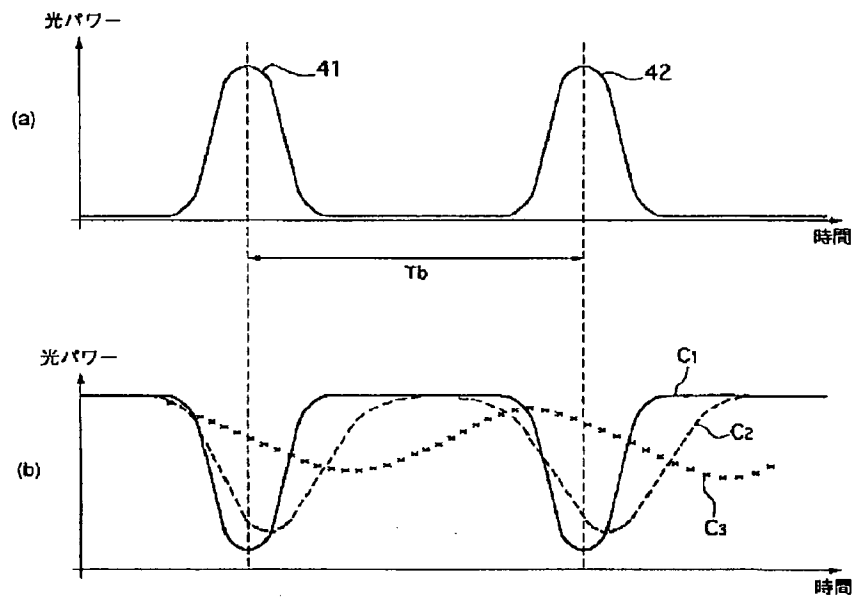
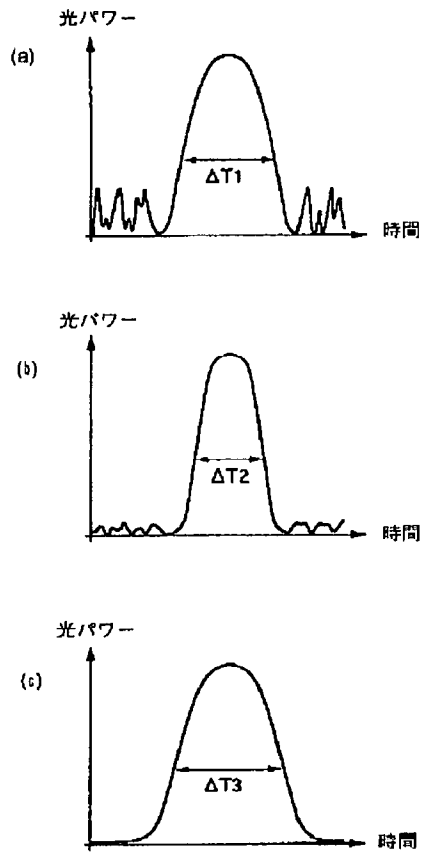


Fig. 5

【図 5】

**Fig. 6**

【図 6】

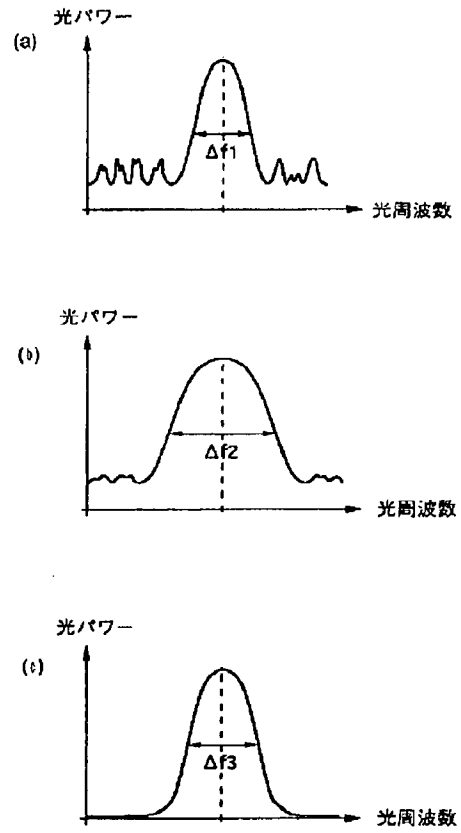
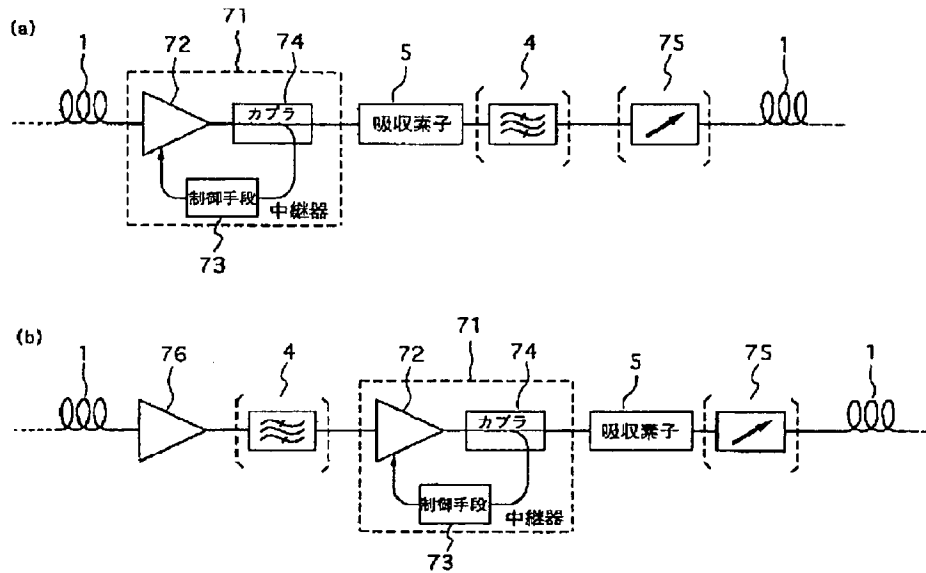


Fig. 7

【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶
H 0 4 B 10/135
10/13
10/12

識別記号

片内整理番号

F 1

技術表示箇所

OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM WITH CORRECTION FOR DISTORTION OF LINE

Publication number: JP7183848

Publication date: 1995-07-21

Inventor: FURANSHISU PIRIO; JIYANNBAPUTEISUTO TOMINU

Applicant: CENTRE NAT ETD TELECOMM

Classification:

- international: **H04B10/02; H04B10/12; H04B10/13; H04B10/135; H04B10/14; H04B10/17; H04B10/18; H04B10/02; H04B10/12; H04B10/13; H04B10/135; H04B10/14; H04B10/17; H04B10/18; (IPC1-7): H04B10/02; H04B10/12; H04B10/13; H04B10/135; H04B10/14; H04B10/18**

- European: H04B10/17D1; H04B10/18D2

Application number: JP19940177436 19940706

Priority number(s): FR19930008539 19930706

Also published as:



US5532861 (A1)

GB2279838 (A)

FR2707442 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract of JP7183848

PURPOSE: To provide a system for correcting distortion, which is caused by a transmission line for an extremely long distance, on an optical fiber for performing on-line optical amplification.

CONSTITUTION: Concerning the system for transmitting a digital signal having a prescribed pass band on the transmission line by performing on-line optical amplification, the transmission line is provided with plural optical fiber parts 1 and plural optical amplifiers 2, each optical amplifier is inserted between two adjacent optical fiber parts, the system is provided with devices more than one for performing the on-line correction of noises and distortion generated in the digital signal especially because of propagation on the transmission line, and an on-line corrector 3 is provided with optical band pass filters 4 more than one having a passing band practically corresponding to the passing band of digital signal and saturable absorbers 5 more than one as non-linear passive optical elements to decrease the absorption corresponding to optical power.

